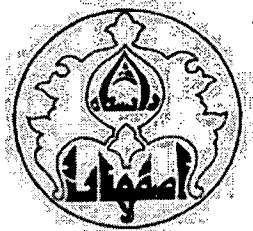


سید محمد



دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی

طراحی و برپایی لیزر Nd:YAG کلیدزنی شده‌ی Q- دو شاخه‌ای و امکان‌سنجی
برپایی OPO در طول موج ۱۵۷۰ nm

استاد راهنما:

دکتر محمود سلطان‌الکتابی

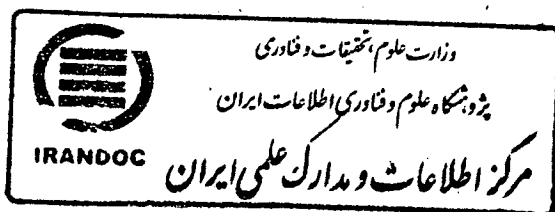
استاد مشاور:

مهندس مهدی موسوی

پژوهشگر:

صدیقه ملک محمدی

مهر ماه ۱۳۸۹

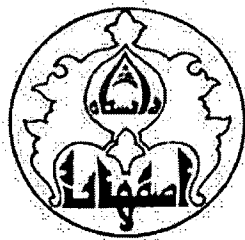


۱۵۹۲۸۶

۱۳۹۰/۲/۲۲

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

شبهه نگارش پایان نامه
رعایت شده است
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان



دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی
خانم صدیقه ملک محمدی با عنوان

طراحی و برپایی لیزر Nd:YAG کلیدزنی شده ی Q- دو شاخه ای و امکان سنجی
برپایی OPO در طول موج ۱۵۷۰ nm

در تاریخ ۲۸/۷/۹۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد/ استادان راهنمای پایان نامه دکتر محمود سلطان کتابی با مرتبه ی علمی استاد امضا

۲- استاد/ استادان مشاور پایان نامه مهندس مهدی موسوی با مرتبه ی علمی مربی امضا

۳- استاد/ استادان داور داخل گروه دکتر علیرضا خورسندی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۴- استاد/ استادان داور خارج از گروه دکتر محمود حسینی فرزاد با مرتبه ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه فیزیک

دکتر حمیدرضا فلاح

پاسکوزاری

پاس پروردگار بی شمار که تمام هستی ام از اوست. خداوند بزرگم که یادش، همواره آرامش خاطر و پروتوی مهربانی کرانش روشنی بخش راهم است.

از پدر گرامی و مادر نازنینم بسیار بسیار پاسکوزارم که هر آنچه دارم از کوشش و پشتیبانی آنهاست. آندو بزرگوار که مراد پناهگاه مهرشان مراقب بوده اند و پستی ها و بلندی های مسیر زندگی ام را حاشانه هموار نمودند تا قدم بردارم و تنها به قدم میاندیشم. فروتنانه در برابرشان زانو می زنم و دوستان پر مهرشان را می بوسم. این پیمان نامه که در برابر سختی هایشان پیچ ارزشی ندارد، من جانم را فدای ایشان میکنم.

از استاد که تقدیرم جناب پروردگوار محمد سلطان الکتابی به خاطر راهنمایی ها، دلگرمی ها و پشتیبانی های دلسوزانه شان قدردانی می کنم و به جرات می گویم که آموزش های شیرین این آموزگار بزرگوار منجر به برابری با اولین بار به پژوهش های لیزری علاقه مند ساخت. همواره از اینکه مرا همچون ساگر دو کوچک خود پرورش دادند به خود میالم، عمرشان پربار.

از مشاور بزرگوارم جناب مهندس مهدی موسوی از شرکت صنایع الکترواپتیک اصفهان (صفا) بسیار بسیار پاسکوزاری می کنم که مراد انجام این پژوهش قدم به قدم برای نمودن و آموخته های خویش را حاصلانند به من آموختند و همواره پشتیبان بنده بوده اند. زندگی شان سرشار از سرافرازی و شادابی.

از دوست نازنین و همکار گرامی ام خانم شهرزاد پارسا که همراه همیشگی بنده در انجام این پژوهش بوده اند، قدردانی می نمایم.

همچنین از ریاست محترم شرکت صنایع الکترواپتیک اصفهان جناب مهندس رضازاده و همچنین جناب مهندس رمضان برای پشتیبانی ها و انجام کارهای لازم برای انجام این پژوهش و همچنین همکاری آقایان مهندس فرخی، مهندس ناظم، مهندس شیرینی، مهندس ناقب فرد، مهندس دهقانی، مهندس خلیلیان و دیگر دوستان بزرگوارم در صفا و دانشگاه اصفهان قدردانی می کنم، همواره شاد و سیرزبانند.

چکیده

در این پژوهش ابتدا لیزر Nd:YAG دوشاخه‌ای کلیدزنی-Q را طراحی کرده و چیدمان آزمایشگاهی آن را برپا کردیم. و تمامی پارامترهای پیش بینی شده را بصورت تجربی بدست آوردیم. سپس با استفاده از این لیزر به عنوان لیزر دمشی، به طراحی و برپایی نوسانگر پارامتریک نوری پرداختیم. به این منظور ابتدا کاواک لیزری مناسب برای دمش میله‌ی لیزری (Nd:YAG) را طراحی کردیم، سپس به اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی گرمایی میله‌ی لیزری پرداختیم و بازآواگر دوشاخه‌ای Nd:YAG را با استفاده از منشور گوشه‌مکعبی طراحی و چیدمان آزمایشگاهی آن را برپا کردیم. بهره‌ی سیگنال کوچک و جفت‌شدگی خروجی بهینه را به صورت تجربی بدست آورده و پارامترهای پرتو همچون زاویه‌ی واگرایی خروجی لیزر و سازه‌ی انتشار پرتو را ابتدا به صورت نظری و سپس به صورت تجربی بدست آورده و نتایج هر دو حالت را با یکدیگر مقایسه کردیم و سازگاری خوبی بین این نتایج بدست آوردیم. آنگاه برای بدست آوردن تپ‌های لیزری کوتاه با توان بیشینه‌ی بالا، از روش کلیدزنی-Q کنا استفاده کردیم. از لیزر برپا شده به عنوان لیزر دمشی نوسانگر پارامتریک نوری استفاده کردیم. سپس نوسانگر پارامتریک نوری (OPO) را طراحی کردیم. برای این کار بلور غیرخطی KTP را انتخاب کردیم و سپس به پیدا کردن بهترین زاویه‌ی جورشده‌ی فازی با توجه به مقدار ضریب موثر غیرخطی و اثر Walk-off، محاسبه‌ی پهنای زاویه‌ی واگرایی و پهنای بینایی مجاز پرتوی دمش و گستره‌ی مجاز تغییرات دمایی بلور و بررسی آستانه‌ی نوسانات لیزر OPO پرداختیم. تمامی محاسبات را توسط برنامه‌ی نرم‌افزاری MATLAB انجام دادیم. لیزر OPO را در دو پیکربندی درون کاواکی و برون کاواکی برپا کرده و بازده و آستانه‌ی نوسانات لیزر OPO با طول موج 1570 nm را برای آینه‌های خروجی با بازتابندگی‌های متفاوت به دست آوردیم. در پایان انرژی خروجی، نمایه و زاویه‌ی واگرایی پرتو خروجی لیزر OPO بر پایه‌ی دو نوع لیزر دمشی خطی و دوشاخه‌ای را با یکدیگر مقایسه کردیم.

واژه‌های کلیدی:

بازآواگر دو شاخه‌ای، کلیدزنی-Q، نوسانگر پارامتریک نوری، زاویه‌ی جورشده‌ی فازی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: بازآواگر لیزری

۱	پیش درآمد
۳	۱-۱ مد TEM_{00}
۴	۲-۱ حجم مدی مد TEM_{00}
۵	۳-۱ مدهای مرتبه بالاتر
۸	۴-۱ بازآواگرهای نوری و ماتریس‌های انتقال پرتو
۹	۵-۱ بازآواگرهای با عدسی‌های درونی
۱۰	۶-۱ بازآواگری با ماده‌ی فعال لیزری
۱۱	۷-۱ تقویت فوتون‌ها و توان خروجی بهینه
۱۶	۸-۱ شدت اشباع در نوسانگر لیزری Nd:YAG
۱۷	۹-۱ بازآواگرهای با مولفه‌های قطبنده
۱۷	۱۰-۱ قطبش و ماتریس جونز
۱۹	۱۱-۱ بازآواگر همراه با سلول پاکلز
۲۱	۱۲-۱ کلیدزنی Q-
۲۲	۱۳-۱ بازآواگرهای منشوری
۲۲	۱-۱۳-۱ منشور گوشه‌مکعبی

فصل دوم: طراحی و برپایی لیزر Nd:YAG دوشاخه‌ای کلیدزنی شده‌ی Q-

۲۵	پیش درآمد
۲۶	۱-۲ طراحی کاواک لیزری
۲۶	۱-۱-۲ انواع کاواک دمش برای لامپ‌های درخشی
۲۸	۲-۱-۲ بازده انتقال انرژی کاواک بازتابنده جفتیده نزدیک
۳۳	۳-۱-۲ محاسبه توان جذب شده توسط تصاویر میله
۳۵	۴-۱-۲ نتایج محاسبات انجام شده توسط نرم‌افزار MATLAB
۳۸	۵-۱-۲ چیدمان آزمایشگاهی
۴۱	۲-۲ اثرات گرمایی

۴۲	۱-۲-۲ عدسی گرمایی
۴۲	۲-۲-۲ روش آزمایشگاهی محاسبه‌ی فاصله‌ی کانونی عدسی گرمایی
۴۴	۳-۲ طراحی بازآواگر لیزر Nd:YAG با در نظر گرفتن عدسی گرمایی
۴۷	۱-۳-۲ طراحی بازآواگر دوشاخه‌ای لیزر Nd:YAG
۵۱	۴-۲ محاسبه‌ی بهره‌ی سیگنال کوچک و جفت‌شدگی خروجی بهینه
۵۴	۵-۲ برپایی لیزر Nd:YAG دوشاخه‌ای
۵۶	۶-۲ اندازه‌گیری زاویه‌ی واگرایی پرتو لیزر Nd:YAG
۵۷	۷-۲ اندازه‌گیری سازه انتشار پرتو
۵۸	۸-۲ کلیدزنی Q- لیزر دو شاخه‌ای Nd:YAG

فصل سوم: نوسانگر پارامتریک نوری

۶۲	پیش‌درآمد
۶۲	۱-۳ لیزرهای غیرخطی
۶۵	۲-۳ برهم‌کنش نور با محیط غیرخطی
۶۶	۳-۳ پذیرفتاری غیرخطی مرتبه‌ی دوم
۶۹	۴-۳ معادلات موج جفت شده
۷۰	۵-۳ شرط جورشدگی فازی
۷۱	۱-۵-۳ چگونگی جورشدگی فازی
۷۲	۲-۵-۳ جورشدگی فازی زاویه‌ای در بلورهای دو محوری
۷۴	۶-۳ تقویت پارامتریک نوری
۷۵	۱-۶-۳ نوسانگر پارامتریک نوری
۷۵	۲-۶-۳ بهره‌ی لیزر OPO
۷۷	۳-۶-۳ آستانه لیزر OPO

فصل چهارم: طراحی و برپایی لیزر غیرخطی OPO با طول موج ۱۵۷۰nm

۷۹	پیش‌درآمد
۸۰	۱-۴ طراحی لیزر OPO با طول موج ۱۵۷۰nm
۸۰	۱-۱-۴ گزینش بلور غیر خطی مناسب

۸۱	۲-۱-۴ جورشدگی فازی
۸۴	۳-۱-۴ ضریب موثر غیر خطی
۸۷	۴-۱-۴ بررسی اثر Walk-off
۹۰	۵-۱-۴ واگرایی مجاز پرتوی دمشی
۹۱	۶-۱-۴ پهنای بینایی مجاز برای پرتوی دمشی
۹۳	۷-۱-۴ وابستگی جورشدگی فازی به تغییرات دما
۹۴	۸-۱-۴ آستانه‌ی OPO
۹۶	۲-۴ چیدمان آزمایشگاهی لیزر OPO
۹۹	۱-۲-۴ هم‌خطسازی چیدمان
۹۹	۲-۲-۴ انرژی خروجی، بازده تبدیل و آستانه‌ی لیزر OPO
۱۰۳	۳-۲-۴ آشکارسازی خروجی لیزر OPO
۱۰۴	۳-۴ مقایسه‌ی خروجی‌های OPO بر پایه‌ی دو نوع لیزر دمشی خطی و دوشاخه‌ای
۱۰۷	منابع و مآخذ

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲.....	شکل ۱-۱- نمایشی از نواحی پایداری در بازآواگر لیزری.....
۵.....	شکل ۱-۲- حجم مدی بهنجار شده $V_{00}/\pi\lambda L^2$ بر حسب پارامتر g
۸.....	شکل ۱-۳- طرحواره‌ای از یک بازآواگر ساده.....
۹.....	شکل ۱-۴- معادل‌سازی آینه با شعاع ρ_i با دو عدسی به فاصله‌ی کانونی $f_i = \rho_i$
۱۳.....	شکل ۱-۵- فرآیند تقویت فوتون در یک رفت و برگشت داخل بازآواگر لیزری.....
۱۴.....	شکل ۱-۶- یک بار رفت و برگشت پرتو درون بازآواگر.....
۱۵.....	شکل ۱-۷- توان لیزر بهنجار شده بر حسب بهره سیگنال کوچک برای ضرایب بازتاب متفاوت آینه‌ها.....
۱۶.....	شکل ۱-۸- نمایشی برای تعیین بازتابندگی بهینه R_{opt} و بیشینه بازده خروجی بر حسب بهره سیگنال کوچک و ضریب اتلاف متفاوت.....
۱۷.....	شکل ۱-۹- بازده خروجی بر حسب تابعی از جفت شدگی خروجی برای بهره سیگنال کوچک برابر با $\ln(2)$ و سازه‌های اتلاف متفاوت.....
۲۱.....	شکل ۱-۱۰- تغییرات بازتابندگی قطبنده بر حسب ولتاژ سلول پاکلز.....
۲۴.....	شکل ۱-۱۱- بازتاب‌های پرتو در منشور گوشه‌مکعبی.....
۲۶.....	شکل ۲-۱- نمونه‌هایی از کاواکهای بیضوی.....
۲۷.....	شکل ۲-۲- طرحواره‌ای از کاواک بازتابنده پخشی.....
۲۸.....	شکل ۲-۳- طرحواره‌ای از کاواک بازتابنده جفتیده نزدیک.....
۲۹.....	شکل ۲-۴- نمایه‌ای از سطح مقطع کاواک و تصاویر مرتبه اول میله لیزری.....
۳۰.....	شکل ۲-۵- الگویی از تصاویر مراتب اول و دوم میله لیزری و تصویر مرتبه اول لامپ.....
۳۱.....	شکل ۲-۶- توزیع انرژی درون یک دسته پرتو موازی.....
۳۲.....	شکل ۲-۷- برهم‌کنش یک دسته پرتو با دو تصویر میله.....
۳۴.....	شکل ۲-۸- نحوه‌ی برهم‌کنش دسته‌های پرتوی متوالی با یکی از تصاویر.....
۳۵.....	شکل ۲-۹- نمودار بازده بر حسب تعداد بازتاب‌ها برای $\alpha=0,997$ و $\alpha=0,900$ ، خطوط پر مربوط به بازتاب از سطوح جانبی و خطوط نقطه‌چین مربوط به بازتاب از سطوح استوانه‌ای.....
۳۶.....	شکل ۲-۱۰- وابستگی بازده انتقال انرژی به عرض کاواک.....
۳۶.....	شکل ۲-۱۱- وابستگی بازده انتقال انرژی به طول بین محوری.....
۳۷.....	شکل ۲-۱۲- وابستگی بازده انتقال انرژی به شعاع میله لیزری.....

- شکل ۲-۱۳- وابستگی بازده انتقال انرژی به شعاع لامپ درخشی..... ۳۷
- شکل ۲-۱۴- تصویر کاواک به کار برده شده در آزمایش ۳۸
- شکل ۲-۱۵- چیدمان آزمایشگاهی بازآواگر خطی لیزر Nd:YAG..... ۳۹
- شکل ۲-۱۶- تغییرات بازده لیزر با توجه به ابعاد سرامیک بازتابنده (کاواک B با ابعاد سطح مقطع $22\text{mm} \times 12\text{mm}$ و کاواک C با ابعاد $27\text{mm} \times 15\text{mm}$)..... ۳۹
- شکل ۲-۱۷- تغییرات بازده لیزر با توجه به ابعاد لامپ درخشی (نمودار پیوسته مربوط به لامپ با قطر درونی 4mm و نمودار خط چین مربوط به لامپ با قطر درونی 5mm است)..... ۴۰
- شکل ۲-۱۸- طرحواره‌ای از روش دوبار عبور پرتو از میله‌ی لیزری برای محاسبه‌ی فاصله‌ی کانونی عدسی گرمایی..... ۴۳
- شکل ۲-۱۹- تغییرات فاصله‌ی کانونی عدسی گرمایی بر حسب انرژی الکتریکی دمش مختلف ۴۴
- شکل ۲-۲۰- تغییرات شعاع پرتو روی میله برای حالتی که میله به آینه‌ی خروجی نزدیک باشد ($d_F = 180\text{mm}$) و حالتی که میله به آینه‌ی پشتی نزدیک باشد ($d_B = 180\text{mm}$) و حالتی که میله در میانه‌ی بازآواگر باشد..... ۴۹
- شکل ۲-۲۱- تغییرات شعاع پرتو روی آینه خروجی برای حالتی که میله به آینه‌ی پشتی نزدیک باشد ($d_1 = 50\text{mm}$) و حالتی که میله به آینه‌ی خروجی نزدیک باشد ($d_2 = 50\text{mm}$)..... ۴۹
- شکل ۲-۲۲- تغییرات زاویه‌ی واگرایی پرتوی خروجی برای حالتی که میله به آینه‌ی پشتی نزدیک باشد ($d_B = 50\text{mm}$) و حالتی که میله به آینه‌ی خروجی نزدیک باشد ($d_F = 50\text{mm}$)..... ۵۰
- شکل ۲-۲۳- تغییرات سازه‌ی انتشار پرتو بر حسب طول موثر بازآواگر..... ۵۰
- شکل ۲-۲۴- تغییرات انرژی لیزر Nd:YAG بر حسب انرژی دمش الکتریکی..... ۵۲
- شکل ۲-۲۵- نمودار فاندلی-کلی برای لیزر Nd:YAG تپی (اندازه‌ی میله‌ی لیزری $4 \times 80\text{mm}$). a شیب و b عرض از مبدا نمودار است..... ۵۳
- شکل ۲-۲۶- بازتابندگی آینه‌ی تخت خروجی در طول موجهای مختلف..... ۵۳
- شکل ۲-۲۷- بازتابندگی آینه‌ی کاو پشتی در طول موجهای مختلف..... ۵۳
- شکل ۲-۲۸- طرحواره‌ای از لیزر Nd:YAG دوشاخه‌ای..... ۵۵
- شکل ۲-۲۹- چیدمان آزمایشگاهی برای محاسبه زاویه واگرایی پرتو..... ۵۶
- شکل ۲-۳۰- چیدمانی از برپایی آزمایشگاهی محاسبه سازه‌ی انتشار پرتو M^2 ۵۷
- شکل ۲-۳۱- چیدمان آزمایشگاهی لیزر Nd:YAG دو شاخه‌ای کلیدزنی شده‌ی Q..... ۶۱

- شکل ۲-۳۲- چگونگی تغییرات τ_p بر حسب $z = \frac{2g_0 l}{\delta}$ (برای سادگی $\frac{\tau_r}{\delta}$ را برابر ۱ ns قرار دادیم). ۶۱.....
- شکل ۲-۳۳- نمودار پهنای زمانی تپ لیزر Nd:YAG دو شاخه‌ای کلیدزنی شده‌ی Q- (این تصویر با استفاده از اسیلوسکوپ گرفته شده است). ۶۲.....
- شکل ۲-۳۴- نمودار تغییرات انرژی لیزر Nd:YAG دو شاخه‌ای کلیدزنی شده‌ی Q- بر حسب انرژی دمش الکتریکی. ۶۲.....
- شکل ۳-۱- اثر جورناشدگی فازی بر بازده ترکیب سه موج. ۷۱.....
- شکل ۳-۲- تولید تفاضل بسامدی (نوعاً در نور فرودی بسامد ω_2 وجود ندارد). ۷۴.....
- شکل ۳-۳- تغییرات فضایی A_1 و A_2 در تولید تفاضل بسامدی با تقریب ثابت بودن دامنه دمش و برای حالتی که $\Delta K = 0$ است. ۷۵.....
- شکل ۳-۴- الف) رابطه‌ی میان تولید تفاضل بسامدی و تقویت پارامتریک نوری. ب) سامانه‌ی نوسانگر پارامتریک نوری. ۷۶.....
- شکل ۳-۵- تغییرات بهره بر حسب $(\Delta kl/2)$. ۷۷.....
- شکل ۴-۱- جورشدگی فازی در صفحه‌ی XY در طول موجهای مختلف سیگنال (منحنی بالا حالت eeo و منحنی پایین حالت eoe را نشان می‌دهد). ۸۲.....
- شکل ۴-۲- جورشدگی فازی در صفحه‌ی XZ در طول موجهای مختلف سیگنال (نمودار خط‌چین مربوط به حالت ooe و نمودار نقطه‌چین مربوط به حالت oeo است). ۸۳.....
- شکل ۴-۳- جورشدگی فازی در صفحه‌ی YZ در طول موجهای مختلف سیگنال (نمودار خط‌چین مربوط به حالت ooe و نمودار نقطه‌چین مربوط به حالت oeo است). ۸۳.....
- شکل ۴-۴- تغییرات ضریب موثر غیر خطی نسبت به طول موج سیگنال در صفحه‌ی XY در دو نوع جورشدگی فازی eoe و eeo. ۸۶.....
- شکل ۴-۵- تغییرات ضریب موثر غیر خطی نسبت به طول موج سیگنال در صفحه‌ی XZ برای دو نوع جورشدگی فازی ooe و oeo. ۸۶.....
- شکل ۴-۶- تغییرات ضریب موثر غیر خطی نسبت به طول موج سیگنال در صفحه‌ی YZ برای دو نوع جورشدگی فازی ooe و oeo. ۸۷.....
- شکل ۴-۷- زاویه‌ی Walk-off بر حسب طول موجهای مختلف سیگنال در صفحه‌ی XZ برای دو نوع جورشدگی فازی ooe و oeo. ۸۹.....

- شکل ۸-۴- زاویه‌ی Walk-off بر حسب طول‌موجهای مختلف سیگنال در صفحه‌ی YZ برای دو نوع
جورش‌دگی فازی ooe و oeo ۸۹
- شکل ۹-۴- پهنای بینایی مجاز پرتوی دمشی بر حسب طول‌موج سیگنال مختلف در صفحه‌های اصلی XZ و
YZ ۹۲
- شکل ۱۰-۴- تغییر دمای مجاز برای بلور KTP در دو صفحه‌ی XZ و YZ برای تمام بازه‌ی جورش‌دگی
فازی ۹۴
- شکل ۱۱-۴- تغییرات آستانه‌ی لیزر OPO نسبت به پهنای تپ دمش ۹۵
- شکل ۱۲-۴- تغییرات آستانه‌ی لیزر نسبت به بازتابندگی آینه خروجی OPO ۹۶
- شکل ۱۳-۴- تغییرات آستانه‌ی نوسانات OPO نسبت به طول بلور KTP ۹۶
- شکل ۱۴-۴- تغییرات آستانه‌ی نوسانات OPO نسبت به شعاع پرتو دمش در بلور KTP ۹۶
- شکل ۱۵-۴- طرحواره‌ی از لیزر OPO بیرون کاواکی ۹۷
- شکل ۱۶-۴- طرحواره‌ی از لیزر OPO درون کاواکی ۹۸
- شکل ۱۷-۴- نمودار درصد عبور نور در طول‌موجهای مختلف برای آینه‌ی پشتی OPO ۹۸
- شکل ۱۸-۴- نمودار درصد عبور نور در طول‌موجهای مختلف برای آینه‌ی خروجی OPO با بازتابندگی ۳۰٪
..... ۹۸
- شکل ۱۹-۴- اثرات آسیب‌دیدگی بر آینه‌ی خروجی OPO ۱۰۰
- شکل ۲۰-۴- نمودار تغییرات انرژی لیزر OPO در طول‌موج ۱۵۷۰ nm نسبت به انرژی دمش ۱۰۶۴nm
..... ۱۰۱
- شکل ۲۱-۴- نمودار تغییرات انرژی آستانه‌ی لیزر OPO در طول‌موج ۱۵۷۰ nm نسبت به بازتابندگی آینه‌ی
خروجی ۱۰۱
- شکل ۲۲-۴- چیدمان آزمایشگاهی لیزر OPO درون کاواکی ۱۰۲
- شکل ۲۳-۴- انرژی خروجی OPO برای هر دو چشمه دمش (لیزر Nd:YAG خطی و دوشاخه‌ای) ۱۰۵
- شکل ۲۴-۴- نمایه‌ی عرضی خروجی OPO برپایه لیزر دمشی خطی Nd:YAG ۱۰۶
- شکل ۲۵-۴- نمایه‌ی عرضی خروجی OPO برپایه لیزر دمشی دوشاخه‌ای Nd:YAG ۱۰۶

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- پارامترهای مختلف پرتو برای بازآواگر دوشاخه‌ای لیزر Nd:YAG طراحی شده	۵۵.....
جدول ۱-۴- انرژی آستانه و بازده تبدیل (η_c) لیزر OPO برای بازتابندگی‌های مختلف آینه‌ی خروجی	۱۰۲..
جدول ۲-۴- بازده تبدیل (η_c) و زاویه‌ی واگرایی پرتو OPO در انرژی‌های متفاوت برپایه لیزر دوشاخه‌ای	۱۰۶.....
جدول ۳-۴- بازده تبدیل (η_c) و زاویه‌ی واگرایی پرتو OPO در انرژی‌های متفاوت برپایه لیزر خطی	۱۰۶.....

فصل اول

بازآواگر لیزری

پیش درآمد

یک بازآواگر نوری پایدار بطور کلی از دو آینه با شعاع‌های انحنای ρ_1 و ρ_2 تشکیل شده است که با طول راه نوری $L = nL_0$ (L_0 جدایی هندسی آینه‌ها و n نمارشکست درون بازآواگر) از یکدیگر جدا شده‌اند. در یک بازآواگر پایدار، طول L بگونه‌ای تعیین می‌شود که پرتو، بعد از تعداد بیشمار رفت و برگشت درون بازآواگر با محور نوری موازی بماند. با تعریف پارامتر g آینه‌های بازآواگر:

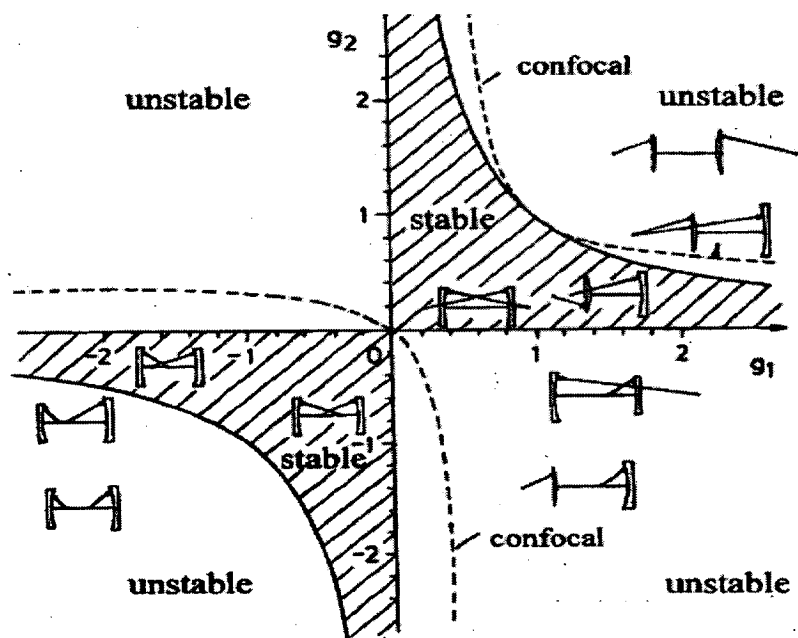
$$g_i = 1 - \frac{L}{\rho_i} \quad i=1,2 \quad (1-1)$$

می‌توان اثبات کرد شرط لازم برای پایداری یک بازآواگر بصورت زیر است [۱]:

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (2-1)$$

با رسم تابع $g_1 = \frac{1}{g_2}$ ، گستره‌های پایداری و ناپایداری بازآواگر لیزری مشخص می‌شود که در شکل (۱-۱)

نشان داده شده است [۲].



شکل ۱-۱- نمایشی از نواحی پایداری در بازآواگر لیزری

بطور کلی یک بازآواگر نوری توسط پارامترهای g آینه‌ها، جدایی آینه‌ها و ابعاد روزنه‌هایی که ممکن است درون بازآواگر قرار داده شود، معرفی می‌شود. برای طراحی یک بازآواگر پایدار ابتدا باید بدانیم چه توزیع میدانی روی آینه‌های بازآواگر، باید وجود داشته باشد تا این توزیع میدان یکی از پاسخ‌های حالت پایایی بازآواگر باشد. یک بار رفت و برگشت پرتو در بازآواگر را بطور ریاضی می‌توان توسط رابطه‌ی انتگرالی کیرشهف توصیف کرد [۳]:

$$\gamma E_i(x_2, y_2) = i \frac{\exp(-iKL)}{2Lg_j \lambda_0} \times \iint E_i(x_1, y_1) \exp \left[\frac{-i\pi}{2Lg_j \lambda_0} (G(x_1^2 + y_1^2 + x_2^2 + y_2^2) - 2(x_1 x_2 + y_1 y_2)) \right] dx_1 dy_1 \quad (3-1)$$

که در آن

$$G = 2g_1 g_2 - 1; \quad i=1, 2$$

L : طول هندسی) $= nL_0$ طول نوری بازآواگر :

عددموج $K = 2\pi / \lambda_0$ ، طول موج نور در خلاء: λ_0

پاسخ‌های این معادله انتگرالی، ویژه مدهای بازآواگر نوری را نشان می‌دهد. در کل تعداد بیشماری از ویژه مدها وجود دارد. شکل توزیع میدان ویژه مدها تغییر نمی‌کند بلکه فقط ممکن است ناشی از اتلاف پراش، دامنه‌ی آنها کاهش یابد. این کاهش دامنه با ویژه مقدار مختلط γ محاسبه می‌شود. سازه‌ی اتلاف $V = \gamma^2$ کسری از توان اولیه را که بعد از یک رفت و برگشت به آینه برمی‌گردد، نشان می‌دهد [۳]. سازه‌ی اتلاف V با اتلاف ΔV به شکل $\Delta V = 1 - V$ در ارتباط است. اگر هر دو آینه‌ی بازآواگر، دارای بزرگی نامحدود و بازتابندگی کامل باشند هیچ توانی تلف نمی‌شود و در این صورت سازه‌ی اتلاف برابر ۱ است. مدهای مختلف در بازآواگر به وجود می‌آید که به هندسه و اندازه‌ی آینه‌ها بستگی دارد. در واقع آینه‌ها شرایط مرزی مسئله هستند و ویژه پاسخ‌ها را بدست می‌دهند. پهنای عرضی ویژه مدها روی آینه i را می‌توان با استفاده از شعاع پرتو w_i مد TEM_{00} تعیین کرد [۳]:

$$w_i^2 = \frac{\lambda L}{\pi} \sqrt{\frac{g_j}{g_i(1-g_1g_2)}} \quad i, j = 1, 2 \quad ; \quad i \neq j \quad (4-1)$$

شعاع مدهای بالاتر روی آینه‌ها برحسب w_i بدست می‌آید [۳]:

$$w_{pl}^{(i)} = w_i \sqrt{2p + l + 1} \quad (5-1)$$

که در تقارن دایروی p توزیع شدت در راستای شعاعی و l تعداد گره‌ها در راستای سمتی را نشان می‌دهد.

۱-۱- مد TEM_{00}

با قرار دادن روزنه‌ای با قطر نزدیک به قطر مد TEM_{00} در مکان روزنه می‌توان لیزر را بر آن داشت تا تنها در مد اصلی نوسان کند. اگر قطر روزنه‌ها به طور چشمگیر از قطر مد TEM_{00} بزرگتر باشد، تمامی مدهای عرضی که درون روزنه هستند، نوسان می‌کنند. در لیزر Nd:YAG شعاع میله لیزری، محدود کننده‌ی تعداد مدهایی است که می‌تواند در بازآواگر نوسان کند. برای مد اصلی یا مد TEM_{00} شعاع پرتو بعنوان تابعی از فاصله می‌تواند توسط قانون ABCD تعیین شود. اگر z فاصله از محل کمر پرتو (کمینه شعاع پرتو) با شعاع w_0 در طول محور نوری باشد شعاع مد TEM_{00} ($w_{00}(z)$) درون بازآواگر را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$w_{00}(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2} \quad (6-1)$$

که در آن کمر پرتو

$$w_0^2 = \frac{\lambda L \sqrt{g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)}}{\pi |g_1 + g_2 - 2g_1 g_2|} \quad (7-1)$$

برد ریلی

$$z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (8-1)$$

موقعیت کمر پرتو

$$L_{01} = L \frac{(1 - g_1)g_2}{|g_1 + g_2 - 2g_1 g_2|} \quad (9-1)$$

L_{01} فاصله کمر پرتو از آینه ۱ است. مد TEM_{00} به طور کامل توسط شعاع پرتو، z_0 برد ریلی و مکان کمر پرتو توصیف می‌شود. همچنین زاویه واگرایی θ_0 با استفاده از این ویژگی‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\theta_0 = \frac{\lambda}{\pi w_0} = \frac{w_0}{z_0} \quad (10-1)$$

حاصلضرب پارامترهای پرتو $w_0 \theta_0$ یک ثابت پرتو گاوسی است به شرطی که از سامانه نوری نوع ABCD انتشار یابد. زاویه واگرایی θ_0 درون یک بازآواگر پایدار با ترکیب رابطه‌های (7-1) و (10-1) از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\theta_0^2 = \frac{\lambda |g_1 + g_2 - 2g_1 g_2|}{\pi L \sqrt{g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)}} \quad (11-1)$$

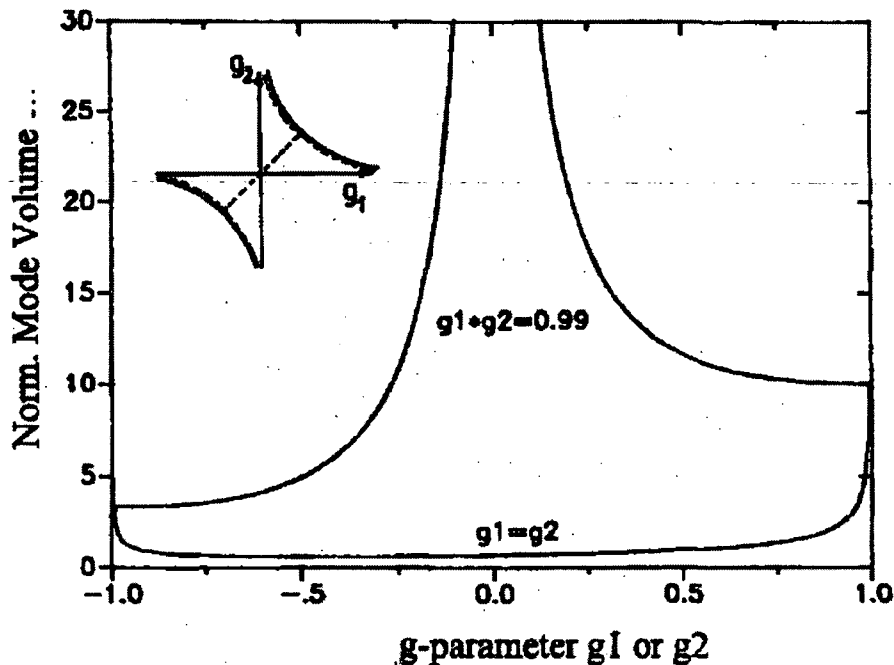
که g_1 و g_2 پارامترهای g و L طول راه نوری بازآواگر است. همانگونه که از رابطه مشخص است هر چه طول بازآواگر بزرگتر انتخاب شود، زاویه‌ی واگرایی کمتر خواهد بود. برای یک مقدار ثابت طول بازآواگر، اگر در نمودار g ، بازآواگر نزدیک به هذلولوی در ربع اول انتخاب شود، زاویه واگرایی خیلی کوچک می‌شود [۳].

۲-۱ حجم مدی مد TEM_{00}

توان خروجی یک بازآواگر در بین پارامترهای دیگر، با حجمی از ماده فعال که توسط مد پر شده است تعیین می‌شود. تنها در این ناحیه از طریق گذار القایی بوسیله مد می‌توان انرژی ذخیره شده را استخراج کرد. می‌توان حجمی که مد TEM_{00} در بین آینه‌های بازآواگر پر می‌کند را حجم مدی فرض کرده و آنرا با استفاده از شعاع مد TEM_{00} تعیین کرد. فرض می‌کنیم تمام بازآواگر را ماده‌ی فعال پر کند. انتگرال مربع شعاع پرتو $w(z)$ که در رابطه‌های (6-1) تا (8-1) داده شده از $z = -L_{01}$ تا $z = L - L_{01}$ حجم مدی مد TEM_{00} را نتیجه می‌دهد:

$$V_{00} = \pi\lambda L^2 \left[\frac{\sqrt{g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)}}{|g_1 + g_2 - 2g_1 g_2|} \right] \left[1 + \frac{(g_2 - g_1)^2 + (1 - g_1)(1 - g_2)g_1 g_2}{3g_1 g_2 (1 - g_1 g_2)} \right] \quad (12-1)$$

حجم مدی بهنجار شده $V_{00}/\pi\lambda L^2$ به عنوان تابعی از پارامتر g در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست بیشترین حجم مدی اصلی برای بازآواگرهای نزدیک به حد پایداری در پارامترهای g مثبت و پارامترهای g که خیلی کمتر از یک باشند بدست می آید [۳، ۱].



شکل ۲-۱ - حجم مدی بهنجار شده $V_{00}/\pi\lambda L^2$ بر حسب پارامتر g

۳-۱ مدهای مرتبه بالاتر

رفتار انتشار مدهای مراتب بالاتر مشابه رفتار انتشار مد TEM_{00} است. اگر w_i و θ_0 شعاع کمر و زاویه‌ی واگرایی مد اصلی باشند، شعاع پرتو به عنوان تابعی از z فاصله انتشار از کمر پرتو بصورت زیر است:
در تقارن دایروی:
شعاع پرتو در مکان z

$$w_{pl}(z) = w_0 \sqrt{2p+l+1} \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2} \quad (13-1)$$

شعاع کمر

$$w_{pl} = w_0 \sqrt{2p+l+1} \quad (14-1)$$

زاویه‌ی واگرایی

$$\theta_{pl}(z) = \theta_0 \sqrt{2p+l+1} \quad (15-1)$$

در تقارن مربعی:

شعاع پرتو در مکان z

$$w_m(z) = w_0 \sqrt{2m+1} \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2} \quad (16-1)$$

شعاع کمر

$$w_m(z) = w_0 \sqrt{2m+1} \quad (17-1)$$

زاویه‌ی واگرایی

$$\theta_m(z) = \theta_0 \sqrt{2m+1} \quad (18-1)$$

برد ریلی، با این مقدار برای مد TEM₀₀ مشابه است:

$$Z_0 = \frac{w_m}{\theta_m} = \frac{w_0}{\theta_0} = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (19-1)$$

حاصلضرب پارامتر پرتو $w\theta$ یک ثابت پرتو است:

$$w_{pl}\theta_{pl} = (2p+l+1)\lambda/\pi = M^2 \lambda/\pi \quad (20-1)$$

$$w_m\theta_m = (2m+1)\lambda/\pi = M^2 \lambda/\pi \quad (21-1)$$

عبارت M^2 ، سازه انتشار پرتو نامیده می‌شود. در یک بازآواگر لیزری، سازه انتشار پرتو مطابق با بزرگترین مرتبه

مد عرضی، کیفیت پرتو خروجی لیزر را تعیین می‌کند. با معرفی پارامتر q :

$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - \frac{i\lambda M^2}{\pi w_{pl}^2(z)} \quad (22-1)$$

انتشار مدهای بالاتر از صفحه ۱ به صفحه ۲ می‌تواند با استفاده از قانون ABCD بررسی شود:

$$q_z = \frac{Aq_1 + B}{Cq_1 + D} \quad (23-1)$$